

盐津桥水库右坝肩下游岩体稳定与工程加固处理

董羽蕙, 冷竹欣, 冯燕, 屈俊童

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 盐津桥水库大坝上游220 m为新建公路大桥, 下游3 km有一个国内有名的大型企业, 因此大坝的安全尤为重要. 盐津桥水库工程岩体边坡为顺层边坡, 卸荷裂隙发育. 根据裂隙及分布特征情况, 采用三维刚体极限平衡法分析右坝肩下游在卸荷裂隙、软弱夹层或顺坡岩层、X节理下的岩体稳定性. 由计算分析结果提出经济合理的边坡加固处理措施.

关键词: 卸荷裂隙; 软弱夹层; 岩体稳定; 盐津桥水库

中图分类号: TV315 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)03-0077-05

Rock Stability and Handling Method of Reinforcing Rock for Lower Rock Slope of Arch Dam' Right Shoulder in Yanjin Bridge Reservoir

DONG Yu-hui, LENG Zh-xin, FENG Yan, QU Jun-tong

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: The rock slope of Yanjin bridge reservoir is the bedded structure, bedding slope with mountain slope, and development of unload crack. The method is adopted to limit equilibrium analysis on the rigid body of three-dimensional space, according to the cracks and the features of bedded structure over rock slope, and a research is made on the stability of lower rock slope of arch dam's right shoulder, which slide masses are composed of unload cracks, soft fault or rock bedding surface, and X bedding. On the basis of analysis and computation, an economic and proper handling method concerning the stability of reinforcing the rock slope is put forward.

Key word: relaxed crack; weak intercalation; rock mass stability; Yanjinqiao Reservoir

0 引言

盐津桥水库位于贵州省境内, 是一个以灌溉、发电、供水及旅游为目的的综合水利工程. 坝址河床高程为569 m, 正常高水位650 m, 坝型为细石混凝土砌块石对数螺旋线双曲薄拱坝, 最大坝高100 m (含垫座). 大坝的主体工程已施工完毕. 由于岩体为顺层边坡, 再加上裂隙发育, 下游岩体的稳定性是大家所关心的问题. 特别是该大坝上游220 m为新建公路大桥, 下游3 km有一个国内有名的大型企业, 因此大坝的安全尤为重要.

1 右坝肩下游边坡工程地质条件

1.1 右岸谷坡特征

库首右岸坝肩至上游新建公路大桥为复式谷坡分两级, I区高程620~742 m为一顺倾向条形缓坡, 宽20~30 m, 长220 m. 至河床为47~50°的阶梯状陡坡、陡坎. 相对河床高50~170 m. 缓坡以上区为悬崖, 高度大于50 m, 悬崖以上为高程720~750 m夷平面. 坝肩嵌深开挖将涉及缓坡上部I区悬岩, 右坝肩下游处于I区顺倾向坡岩体, 见图1.

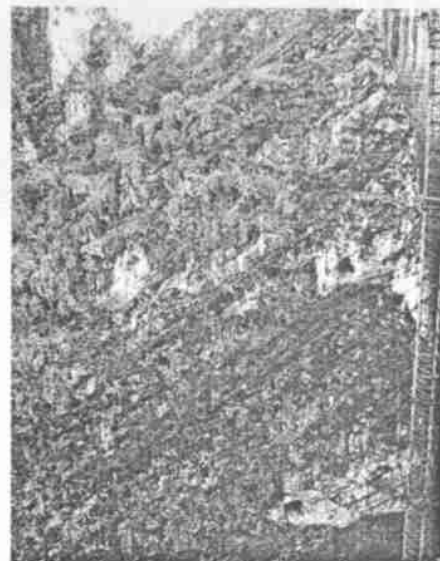


图1 右坝肩下游边坡地形地貌

收稿日期: 2003-07-08. 基金项目: 云南省科技厅基础研究经费资助(项目编号: 20015053).

第一作者简介: 董羽蕙(1957.9~), 女, 硕士, 副教授. 主要研究方向: 水工结构. E-mail: Lzhvqinj@public.km.yn.cn
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2 地形地貌特征

右坝肩下游地形为陡崖,地形坡角 70~ 80°,为斜向坡.相对高差约124 m.从地形图中上 597~ 660 m高程内距坝端下游 20~ 50 m左右岩体具有临空面.

1.3 岩体结构特征及水文地质条件

边坡坡体出露地层为寒武系中上统娄山关群第二段的浅灰至灰色中厚层夹薄层含硅质粉、细晶白云岩,砂屑白云岩及薄层泥质白云岩.白云岩偶夹软弱夹层.

层间错动软弱夹层;边坡岩体为层状结构,岩层产状 N60~ 65°E/NW ∠40~ 43°,倾下游偏左岸.主要发育三组裂隙:(1)N20°W/SW ∠75~ 78°;(2)N30°E/SE ∠65~ 70°;(3)N60°E/SW ∠72~ 75°.

其中以(1)组最为发育,裂面微起伏,延伸长大于30 m,多形成顺坡向陡崖且切层深,与河床接近平行,为岸坡卸荷裂隙带,平行岸坡共发育 6 条(延伸长、规模大),是影响岸坡稳定的主要结构面.(2),(3)组为 X 节理,延伸短,一般不切层.

右坝肩主要岩体为中厚层夹薄层白云岩和薄层夹中厚层泥质白云岩,侧向裂隙(卸荷裂隙)较发育.卸荷裂隙面 $f' = 0.45 \sim 0.7$, $c' = 0.1 \sim 0.2$ MPa; 各组结构面 $f' = 0.6 \sim 0.8$, $c' = 0.8$ MPa; 层间错动软弱夹层,主要为岩粉、岩屑石、碎片等,局部有泥化现象,取 $f' = 0.3 \sim 0.35$, $c' = 0.01 \sim 0.03$ MPa; X 节理,随机分布,抗剪强度 f 取 0.6.据钻孔揭露,右岸坝肩地下水位较高,水库蓄水后,边坡大部分处于正常高水位以下.但通过对大坝下游采取的排水降压措施,可考虑降低危及岩体稳定的地下水水位.

根据地矿部门资料,在坝址以25 km处曾发生过震级 II级的微震;据“中国地震烈度区划图”本区地展基本烈度小于 VI度.

2 稳定分析

根据地形地质资料和拱端布置情况,进行岩体稳定的地质构造组合分析.并采用三维刚体极限平衡法进行稳定计算.

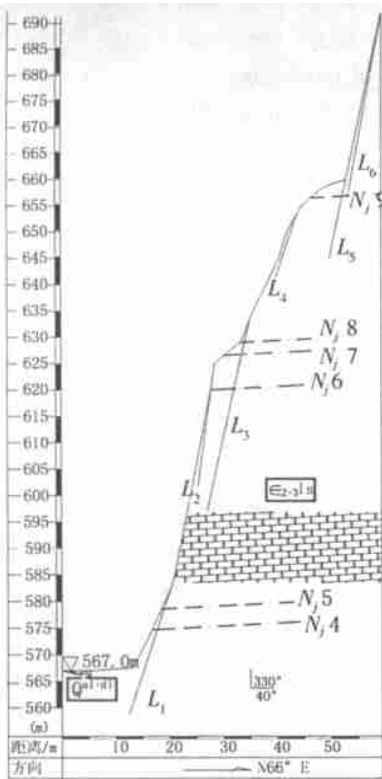


图2 右坝肩下游地质剖面

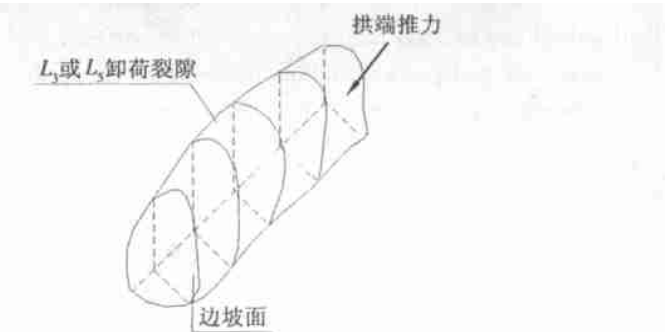


图3 滑移体模型 I

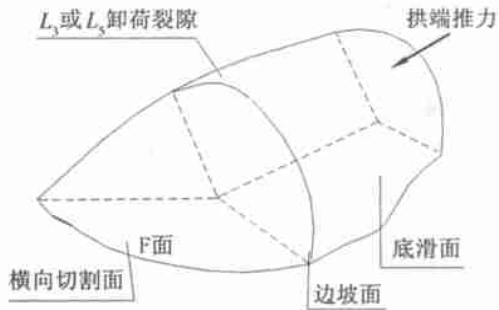


图4 滑移体模型 II

2.1 滑移体分析

根据地形地质条件以及拱端布置情况分析, 影响右坝肩下游岩体稳定不利地质单元主要有: 卸荷裂隙 L_1 与软弱夹层 N_{j4} 、 N_{j5} 组成的地质单元; 卸荷裂隙 L_2 与岩石层理构成的地质单元; 卸荷裂隙 L_3 与软弱夹层 N_{j6} 、 N_{j7} 、 N_{j8} 组成的地质单元; 卸荷裂隙 L_3 与岩石层面组成的地质单元; 卸荷裂隙 L_4 与岩石层面构成的地质单元; 卸荷裂隙 L_5 与岩石层理构成的地质单元。并根据各地质单元与拱端的相交情况确定拱端对可能滑移体的作用力大小。

2.2 稳定计算

2.2.1 滑移模式

根据上述分析, 主要针对 L_3 和 L_5 与其他结构面组成的滑移体进行稳定性分析。坝肩不利滑移体的滑移模式及其稳定状况见图 3, 图 4。

2.2.2 稳定分析

根据拱端布置, 地形地质资料以及拱端开挖资料分析, 对卸荷裂隙 L_1 , 卸荷裂隙 L_2 , 卸荷裂隙 L_4 组成的不利地质单元, 考虑其与河谷临空面之间的岩体较单薄, 其稳定性问题主要是避免岩体崩塌波及边坡稳定。对卸荷裂隙 L_3 , 卸荷裂隙 L_5 组成的不利地质单元, 采用三维刚体极限平衡法, 按抗剪分别计算岩体的稳定安全系数。计算结果见表 1。

从表 1 可知 L_5 裂隙的安全系数较大, 而 L_3 所组合的滑移体稳定安全系数较小, 且小于规范规定的稳定安全系数要求。

表 1 右坝肩下游岩体稳定分析成果

| 序号 | 稳定分析 结构面 | 地质单元 | 正常情况 | 校核情况 |
|----|-------------|----------------|-------|------|
| | | | 安全系数 | 安全系数 |
| 1 | 侧向切割面 | L_3 卸荷裂隙 | 0.866 | 0.74 |
| | 底滑面 | 岩层层面 | | |
| | 横向切割面 | X 节理(f 面) | | |
| 2 | 侧向切割面 | L_3 卸荷裂隙 | 0.27 | |
| | 底滑面 | N_{j8} 软弱夹层 | | |
| | 临空面 | 侧向河谷及下游边坡 | | |
| 3 | 侧向切割面 | L_5 卸荷裂隙 | 2.09 | |
| | 底滑面 | 岩层层面 | | |
| | 横向切割面 | X 节理(f 面) | | |

注: ①计算岩体自重时, 岩体容重为 2.5 t/m^3 ;

②计算扬压力时选扬压力折减系数为 0.15(考虑坝后采用排水降低渗透力)。

3 加固处理设计

3.1 右坝肩下游边坡处理方案

1) 据上述计算结果, 卸荷裂隙 L_3 与岩石层面、 X 节理组成的可能滑移体需进行加固处理。根据工程条件分析采用预应力锚索加固方案。考虑地下水的影响, 为避免锚索因地下水的侵蚀而发生断裂失效, 锚索采用双层保护形式, 即第一层为钢绞线上涂油脂并用 PE 塑料包裹, 第二层为钢绞线束外封闭的 PVC 波纹管。考虑工程今后的管理条件, 采用全段灌注式锚索。锚索布置见图 5, 图 6。

2) 卸荷裂隙 L_3 与软弱夹层 N_{j8} 以及临空面所构成的可能滑移体, 由计算结果, 需进行加固处理。在上述处理方案中, 针对锚索布置, 校核处理后该部分的稳定性。

3) 其他裂隙的影响, 由于裂隙外侧岩体较薄, 且卸荷裂隙 L_1 , L_2 , L_4 前的岩体如果发生滑移或崩塌对边坡岩体的稳定影响较大, 故此考虑采用混凝土支护和喷锚支护同时改善锚索周围的支撑条件, 并可增加裂隙的稳定性。

3.2 安全系数 K_c 的选择

根据《水工预应力锚固设计规范》, 边坡加固处理的重要的永久性锚固工程, 稳定性安全系数 $K_c \geq 1.8$, 故此选择设计情况 $[K_c] = 1.8$, 校核情况 $[K_c] = 1.5$ 。

3.3 右坝肩下游边坡处理计算

3.3.1 锚索力

在可能滑移体上设置预应力锚索帮助其抗滑稳定。

$$\text{所需锚索力为: } T = \frac{K_c Q - F}{A}$$

式中: K_c — 岩体稳定安全系数; Q — 可能滑移体上的滑动力; F — 可能滑移体上的抗滑力; A — 抗滑系数。

根据地形条件以及施工条件, 选择 1 000 kN 级预应力锚索, 共 95 根。

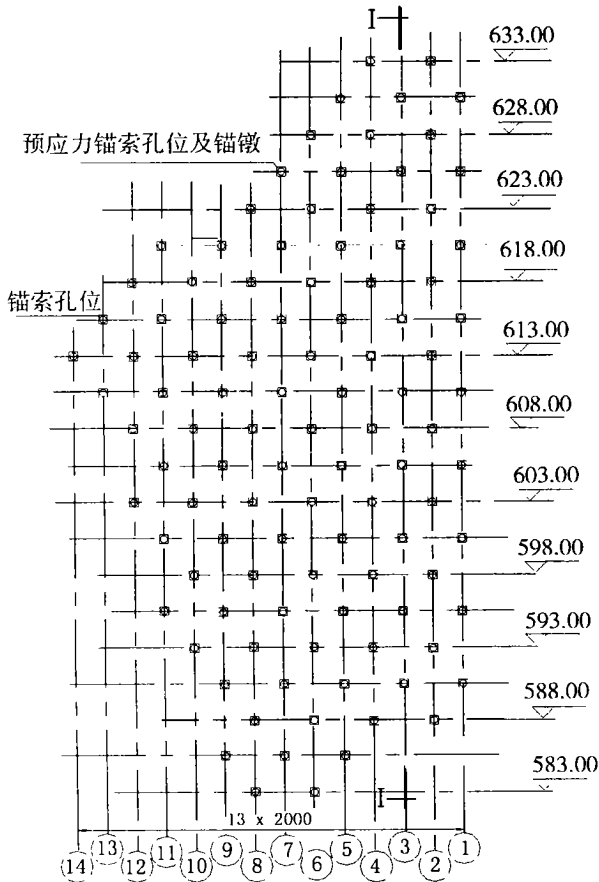


图5 预应力锚索布置

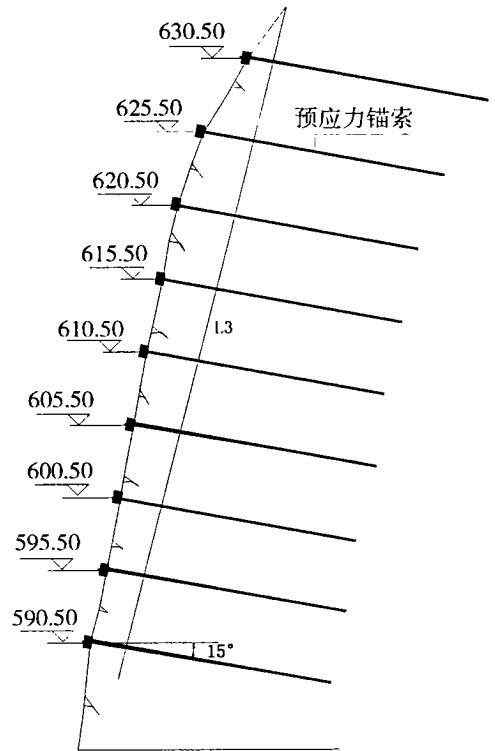


图6 I—I剖面

3.3.2 锚索

根据锚索力计算,选择7股每股钢绞线由7根 $\varnothing 5$ mm,公称直径 $\varnothing 15.24$ mm的高强低松弛钢绞线组成锚索.利用锚索体与岩体之间的粘结强度条件确定内锚固长度,即用公式 $L_{m_i} = \frac{KP}{3.14DC_i}(M)$ 计算,得锚索所需内锚固长度为 $L_m = 10.0$ m.锚索体自由段长为5 m.

3.3.3 锚墩

根据地质条件,右岸地层岩性为C2-3IS,中厚层白云岩,呈层状结构,岩体完整性较好.分析卸荷裂隙 L_3 前岩体,综合取值为 $[f_{\sigma}] = 3.5$ MPa, $\mu = 0.15$, $E = 4.5$ GPa.安全系数取1.5.锚墩混凝土采用C30,锚墩为梯形正棱台.

3.4 工程施工顺序

工程水泥砂浆锚杆施工 \rightarrow 混凝土护壁施工 \rightarrow 喷射混凝土施工 \rightarrow 锚索造孔 \rightarrow 穿索 \rightarrow 内锚段注浆 \rightarrow 锚墩混凝土浇注 \rightarrow 张拉 \rightarrow 自由端注浆 \rightarrow 外锚头保护.

4 几点体会

1) 本工程岩石条件较好,但岩层向下的倾角较大,卸荷裂隙较发育,其中较大部分裂隙基本上是顺河床走向,其中部分被裂隙切割后的边坡岩体厚度不大(如 L_2 , L_4),很容易造成岩体崩塌,而这些岩体崩塌又可能对上游建筑物的安全构成危害.采用喷射混凝土支护既可保证锚固施工过程中这部分岩体的稳定,也可参与今后的整体运行.

2) 本工程的地质条件资料较粗糙,边坡地形较陡,可供布置锚索的位置和工程施工场地有限,给设计和施工都带来一定的困难.

表2 粘接力 C_i (MPa)、安全系数 K 的取值

| | 锚索体 | 胶结材料 | 波纹管 | 孔壁岩体 |
|-------|-----|------|-----|------|
| C_i | 1.2 | 0.2 | 2.0 | 1.1 |
| K | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |

3) 顺层坡岩体渗透水性较大, 渗透系数的选取对岩体的稳定性分析影响较大, 对锚索体的使用寿命也有较大影响。对于小工程由于条件有限, 不可能做很详细的水文地质分析。故此选用前期工程的防渗处理方案提供的资料。为提高锚索的使用寿命和考虑工程今后的管理, 本工程采用的双层保险和全段灌注式锚索体。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部.《水工预应力锚固设计规范》SL212—98[S]. 1998. 55~ 58.
- [2] 中国岩土锚固工程协会. 岩土锚固新技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000. 189~ 256.
- [3] 程良奎, 杨志银, 喷射混凝土与土钉墙[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 338~ 343.

(上接第 68 页)

其中 f_{yh} 是节点抗剪钢筋的屈服强度。(2) 节点的竖向抗剪配筋: 节点的竖向抗剪配筋一般由中部柱钢筋承担。当柱截面上仅有两排竖向配筋布置时需要验算是否增加节点的竖向抗剪钢筋。可以根据节点的桁架剪切模式来推导节点竖向抗剪配筋的计算公式。若水平方向拉筋的面积为 A_{jh} , 剪力流为 $v_s = V_{sh}/h'_c$, 按照桁架剪切模式以及静力平衡条件, 设斜撑倾角为 α , 可求得:

$$p + \frac{A_{jh}f_{yv}}{h'_c} - v_s \operatorname{tg} \alpha = 0$$

因此:
$$A_{jv} = \frac{1}{f_{yv}}(V_{sh} \operatorname{tg} \alpha - h'_c p) \quad (15)$$

1.2 构造措施

有试验显示, 节点区域的粘结退化会显著增大结构的层间位移。因此, 采取适当的构造措施有助于保证实现强节点弱构件的概念设计要求。尤其是顶层节点由于受截面尺寸的限制, 以及梁的抗弯强度有可能超过柱的抗弯强度, 容易出现非弹性节点。如何保证钢筋的良好锚固是节点构造措施的主要内容。在设计中可考虑采取以下措施:

- 1) 利用箍筋加密或布置斜筋控制梁上的塑性铰位置离开节点一定位置, 保证钢筋的粘结;
- 2) 在节点区域适当增加竖向钢筋有利于发挥桁架机构的作用;
- 3) 在支撑与梁柱交接位置布置斜向钢筋可提高开裂强度。

参考文献:

- [1] 张来仪编译. 日本建筑学会(AIJ)对钢筋混凝土建筑物基于极限强度的以梁柱节点为重点的设计要求的建议[J]. 国外建筑科学, 1998, 6(4): 15~ 21.
- [2] 游渊, 傅剑平, 白绍良, 汤华. 钢筋混凝土抗震框架梁柱节点的延性设计准则[J]. 重庆建筑大学学报, 1996, (12): 12~ 20.
- [3] 古松. 钢筋混凝土摩擦耗能支撑节点有限元分析: 硕士学位论文[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2003. 27~ 29.
- [4] T. 鲍雷, M. J. N. 普里斯特利. 钢筋混凝土和砌体结构的抗震设计[M]. 戴瑞同, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 188~ 192.